



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 195 38 826 A 1**

⑤1 Int. Cl.®:  
**G 05 B 19/18**

②1 Aktenzeichen: 195 38 826.7  
②2 Anmeldetag: 18. 10. 95  
④3 Offenlegungstag: 30. 4. 97

DE 195 38 826 A 1

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

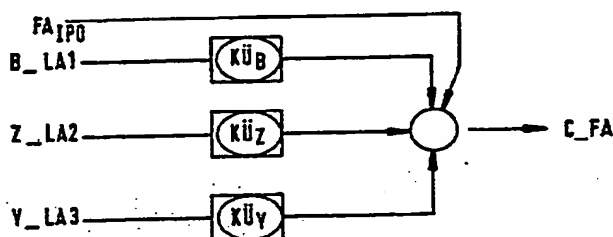
⑦2 Erfinder:  
Baer, Thomas, Dipl.-Ing., 91096 Möhrendorf, DE;  
Welker, Johannes, Dipl.-Ing., 92318 Neumarkt, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:  
EP 02 50 775 A2

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen, insbesondere bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern mit elektronischer Achskopplung, wobei, sofern nicht bereits bestimmt, definierte Positionen für die Leitachse (B\_LA1, C\_LA2, Y\_LA3) und Folgeachsen (C\_FA) bezogen auf das Absolutlagersystem bestimmt werden, die Kopplung eingeschaltet wird und die Leitachsen (B\_LA1, C\_LA2, Y\_LA3) auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren werden, gewartet wird, bis die Folgeachsen (C\_FA) eine synchrone Drehzahl erreicht haben, die Leitachsenpositionen und Folgeachsenpositionen gemessen werden, die Meßwerte zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert werden und für jede Folgeachse (C\_FA) ein Synchronauffehler ( $\Delta C$ ) ermittelt wird und dieser Synchronauffehler durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse (C\_FA) ausgeglichen wird. Im Falle des Vorliegens von Folgeachsen, die als periodische Achsen ausgeprägt sind, erfolgt eine Verkürzung des Synchronisierweges zum Ausgleichen eines Synchronauffehlers durch Modulordnung mit der Teilung der zugehörigen Folgeachse.



DE 195 38 826 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen  
BUNDESDRUCKEREI 03. 97 702 018/22

9/22

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen, insbesondere bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern mit elektronischer Achskopplung.

Bei Maschinen mit elektronischer Achskopplung, bei welchen Leitachsen die Bewegungen von Folgeachsen bedingen, ist es oftmals erforderlich, diese beteiligten Leit- und Folgeachsen in eine definierte Lage zueinander zu bringen. Solche Maschinen sind z. B. numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen wie Walzfräsmaschinen, Walzschleifmaschinen zur Zahnradherstellung, Synchronspindeln oder Roboter. Z.B. beim Zahnradnachbearbeiten durch Wälzschleifen muß eine Schleifschnecke exakt in das vorgefertigte Zahnrad eintauchen. In einem solchen Fall stellt die Schleifschnecke eine Leitachse dar, das Zahnrad, welches das Werkstück darstellt, wird von einer Folgeachse bewegt.

Herkömmliche Verfahren zur Synchronisierung von Leit- und Folgeachsen erfordern es, daß Leit- und Folgeachse bei jedem Einsynchronisierungsvorgang erneut an eine spezielle, genau definierte Position gefahren werden, anschließend die Kopplung eingeschaltet wird und zuletzt die Leitachsen auf Bearbeitungsgeschwindigkeit hochgefahren werden. In einem anderen bisher bekannten Verfahren werden Folgeachsen und alle Leitachsen bis auf eine definierte Position gefahren und die letzte Leitachse, eine sogenannte Hauptleitachse wie beispielsweise eine Spindel, wird auf Arbeitsdrehzahl geführt. Wenn diese letzte Leitachse eine definierte Position überfährt, wird die Kopplung eingeschaltet.

Beide Verfahren haben jedoch zur Folge, daß sie sehr zeitaufwendig sind, da vor der Bearbeitung jeweils erneut positioniert werden muß. Außerdem muß bei dem zweiten genannten herkömmlichen Verfahren ein sehr exakter Hochlauf der Folgeachse erfolgen, um zu verhindern, daß dabei Positionswerte verloren werden, was zwangsläufig zu einem Synchronlauffehler führen würde.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so auszubilden, daß es einerseits zeitoptimal arbeitet, andererseits ein jeweils erneutes Positionieren von Leit- und Folgeachsen vor der Bearbeitung vermieden werden kann, so daß eine Einsynchronisation während des Verfahrens ermöglicht wird. Dies soll beispielsweise auch bei einem Umschalten der Übersetzungsverhältnisse von einem Werkstück zum nächsten möglich sein.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe durch folgende Verfahrensschritte gelöst:

- 1.1 die Kopplung wird eingeschaltet und die Leitachsen werden auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren,
- 1.2 es wird gewartet bis die Folgeachsen eine synchrone Drehzahl erreicht haben,
- 1.3 die Leitachsenpositionen und Folgeachsenpositionen werden gemessen,
- 1.4 die Meßwerte werden zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert,
- 1.5 zu jeder Folgeachse wird ein Synchronlauffehler ermittelt,
- 1.6 jeder Synchronlauffehler wird durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse aus geglichen.

In einer alternativen Lösung wird der Tatsache Rech-

nung getragen, daß sich Leitachse und Folgeachse zu Beginn nicht in einer Synchronposition befinden. In einem solchen Fall wird die Aufgabe durch folgende Verfahrensschritte gelöst:

- 2.1 definierte Positionen für die Leitachsen und Folgeachsen bezogen auf das Absolutlagesystem werden bestimmt,
- 2.2 die Kopplung wird eingeschaltet und die Leitachsen werden auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren,
- 2.3 es wird gewartet bis die Folgeachsen eine synchrone Drehzahl erreicht haben,
- 2.4 die Leitachsenpositionen und Folgeachsenpositionen werden gemessen,
- 2.5 die Meßwerte werden zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert,
- 2.6 zu jeder Folgeachse wird ein Synchronlauffehler ermittelt,
- 2.7 jeder Synchronlauffehler wird durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse aus geglichen.

In einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung wird dieses speziell im Hinblick auf den Fall optimiert, daß Folgeachsen als periodische Achsen ausgeprägt sind. Dies wird durch folgende weitere Verfahrensschritte erreicht:

- 3.1 der Synchronisierweg zum Ausgleichen eines Synchronlauffehlers wird durch Modulordnung mit der Teilung der zugehörigen Folgeachse ermittelt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird erreicht, daß das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung für den Anwendungsfall, daß Folgeachsen als endlos drehende Rundachsen ausgeprägt sind, optimiert wird und dadurch eine noch schnellere Einsynchronisation erfolgen kann. Dies wird durch folgende weiteren Verfahrensschritte erreicht:

- 4.1 das Ausgleichen eines Synchronlauffehlers erfolgt durch Auswahl des kürzesten Weges innerhalb des Moduls eine Umdrehung der zugehörigen Folgeachse.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung wird der Anwendungsfall, daß Folgeachsen als Teilungsachsen ausgeprägt sind, berücksichtigt. Auch hierfür wird eine zeitoptimale Durchführung der Einsynchronisation zwischen Leitachsen und Folgeachsen ermöglicht und dadurch ein Einsynchronisieren weiter beschleunigt. Es wird durch folgenden weiteren Verfahrensschritt erreicht:

- 5.1 das Ausgleichen eines Synchronlauffehlers erfolgt durch Auswahl des kürzesten Weges innerhalb des Moduls der Teilungszahl der zugehörigen Folgeachse.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird erreicht, daß die Bestimmung einer Synchronposition beim Einrichten von Werkzeug und Werkstück vollautomatisch erfolgen können. Dies geschieht durch folgenden weiteren Verfahrensschritt:

6.1 die definierte Position für die Folgeachse wird durch einen berührungslosen Sensor oder einen berührenden Sensor bezogen auf das Absolutlagesystem bestimmt.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß Leit- und Folgeachsen für ein Einsynchronisieren nicht ständig erneut vor der Bearbeitung positioniert werden müssen, sondern zeitoptimal einsynchronisiert werden. Darüber hinaus ist eine Einsynchronisation während des Verfahrens jederzeit möglich. Auch unter Einbeziehung des Falles, daß Folgeachsen als periodische Achsen, endlosdrehende Rundachsen oder Teilungsachsen ausgeprägt sind, wird das zeitoptimale Verhalten gewährleistet, indem ein Einsynchronisieren in noch kürzerer Zeit durchgeführt werden kann.

Weitere Vorteile und erfinderische Einzelheiten ergeben sich aus nachfolgender Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung und in Verbindung mit den Unteransprüchen. Dabei zeigen im einzelnen:

Fig. 1 Anordnung eines elektrischen Getriebes anhand des Zahnradnachbearbeitens durch Wälzschleifen mit einer Schleifschnecke als Leitachse und zu fertigendem Zahnrad als Folgeachse und

Fig. 2 Prinzipskizze der Signalführung zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen.

Fig. 3 Skizze zum vollautomatischen Einrichten von Folgeachse und Leitachse am Beispiel einer Zahnradbearbeitung,

Fig. 4 automatisches Einrichten eines Zahnrades und einer Schleifschnecke mit einem berührungslosen Sensor, welcher der Position des Werkzeugs gegenüber liegt,

Fig. 5 vollautomatisches Einrichten eines Zahnrades und einer Schleifschnecke mit Hilfe eines berührenden Meßtasters.

In der Darstellung gemäß Fig. 1 ist eine Anordnung eines elektrischen Getriebes anhand des Anwendungsfalles des Zahnradnachbearbeitens durch Wälzschleifen dargestellt. Dabei muß eine Wälzschleifschnecke B exakt in die Lücken des Zahnrades C greifen, was durch die Schraffur der beiden Elemente angedeutet ist. Die Wälzschleifschnecke B wird durch eine erste Leitachse B<sub>LA1</sub> angetrieben, während das Zahnrad C durch eine Folgeachse C<sub>FA</sub> geführt wird. Beide Achsen sind in Form von Pfeilen gezeigt, die durch den Mittelpunkt verlaufen. Ein geschwungener Pfeil deutet jeweils die Tatsache an, daß es sich um Umdrehungsachsen handelt. Daneben sind zwei weitere Leitachsen Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> vorgesehen. Diese müssen als Voraussetzung für ein erfolgreiches Einsynchronisieren von Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> und Folgeachse C<sub>FA</sub> auf definierten Positionen bezogen auf ihr absolutes Lagesystem stehen. Diese auch als Synchronpositionen bezeichneten Positionen sind für die Leitachsen mit B<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub> und Z<sub>0</sub>, sowie für die Folgeachse mit C<sub>0</sub> bezeichnet.

Ist eine solche Synchronposition C<sub>01</sub>, B<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub> zu Beginn nicht vorhanden, so muß diese vorab ermittelt werden. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß alle Leitachsen und die Folgeachse in eine definierte Ausgangsposition verfahren werden.

Unter der Voraussetzung, daß die Übersetzungsverhältnisse K<sub>UB</sub>, K<sub>UZ</sub>, K<sub>UY</sub> korrekt angegeben sind, kann nun mit jeder Leitachse B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> verfahren werden, ohne daß die Schleifschnecke B die richtige Position im Zahnrad C verläßt. Eine Prinzip-

skizze zur Signalführung dazu ist in der Darstellung gemäß Fig. 2 gezeigt, wobei die Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> multipliziert mit einem jeweiligen Übersetzungsverhältnis K<sub>UB</sub>, K<sub>UZ</sub>, K<sub>UY</sub> verknüpft werden. Die Verknüpfung ist durch einen Kreis dargestellt, an den die genannten Signale in Form von Pfeilen führen. Eine mögliche Verknüpfung besteht in einer Addition der zugeführten Signale. Dazu kommt ein Signal FA<sub>IPO</sub>, welches zur Interpolation der Folgeachse dient. Dieses wird mit den anderen Signalen verknüpft und aus dem Verknüpfungsergebnis das Signal für die Folgeachse C<sub>FA</sub> abgeleitet, erkennbar anhand des von dem Kreis wegführenden Pfeils. Eine Folgeposition C<sub>1</sub> für die Folgeachse C<sub>FA</sub> läßt sich anhand der folgenden Berechnungsvorschrift bestimmen, wobei mit B<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub> und Z<sub>1</sub> die Positionen der Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> bestimmt sind, auf die mit diesen Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> verfahren wird:

$$C_1 = C_0 + (B_1 - B_0) \cdot K_{UB} + (Z_1 - Z_0) \cdot K_{UZ} + (Y_1 - Y_0) \cdot K_{UY} \quad (1)$$

Mit dieser Berechnungsvorschrift (1) läßt sich zu jedem beliebigen Zeitpunkt die Position C<sub>1</sub> berechnen, die die Folgeachse C<sub>FA</sub> einnehmen muß, um synchron mit allen Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> zu sein.

Um nun ein Einsynchronisieren von Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> und Folgeachse C<sub>FA</sub> gemäß der vorliegenden Erfindung herbeizuführen, wird eine Kopplung zwischen Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> und Folgeachse C<sub>FA</sub> sofort eingeschaltet und alle Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> werden auf ihre Bearbeitungsgeschwindigkeit hochgefahren. Die Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> können sich aber beispielsweise vom letzten Bearbeitungsprogramm noch in Bewegung befinden. In einem solchen Fall wird die Kopplung auch sofort eingeschaltet und die Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> werden auf ihre neue Bearbeitungsgeschwindigkeit gefahren. Aufgrund der Kopplung von Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> und Folgeachse C<sub>FA</sub> ändert auch die Folgeachse C<sub>FA</sub> ihre Geschwindigkeit. Dabei kann die Folgeachse C<sub>FA</sub> entsprechend einer festgelegten Beschleunigungsrampe, welche beispielsweise durch die Dynamik des für die Folgeachse C<sub>FA</sub> vorgesehenen elektrischen Antriebes bestimmt wird, beschleunigt werden. Dabei kann es jedoch passieren, daß Weginkremente, die aufgrund einer eventuell vorhandenen Beschleunigungsbegrenzung nicht abgefahren werden, verloren gehen. Dies führt zu einem Synchronlauffehler ΔC, welcher die Abweichung zwischen der gewünschten Position der Folgeachse C<sub>FA</sub> und der tatsächlichen Position darstellt.

Nach Ende des Hochlaufs der Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> wird solange gewartet, bis die Folgeachse C<sub>FA</sub> eine zu den Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> synchrone Drehzahl erreicht hat. Anschließend werden zu einem einzelnen Abtastzeitpunkt die Positionen B<sub>M</sub>, Z<sub>M</sub> und Y<sub>M</sub> aller Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> und die Position C<sub>M</sub> der Folgeachse C<sub>FA</sub> gemessen und abgespeichert. In digitalen Systemen geschieht dies zu einem beliebigen Taktzeitpunkt. Anhand der folgenden Berechnungsvorschrift (2), in die die gemessenen Positionen B<sub>M</sub>, Z<sub>M</sub> und Y<sub>M</sub> von Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub> eingetragen sind, kann eine Position C\* ermittelt werden, wo sich die Folgeachse C<sub>FA</sub> zum Abtastzeitpunkt M hätte befinden müssen, um mit den Leitachsen B<sub>LA1</sub>, Z<sub>LA2</sub> und Y<sub>LA3</sub>

synchron zu sein.

$$C^* = C_0 + (B_M - B_0) \cdot K_{\bar{u}B} + (Z_M - Z_0) \cdot K_{\bar{u}Z} + (Y_M - Y_0) \cdot K_{\bar{u}Y} \quad (2)$$

Aus der Differenz von der gemessenen Position der Folgeachse  $C_M$  und der gewünschten Position  $C^*$  wird ein eventuell vorhandener Synchronlauffehler  $\Delta C$  errechnet. Das wird durch die folgende Berechnungsvorschrift wiedergegeben:

$$\Delta C = C^* - C_M \quad (3)$$

Durch Kombination der Berechnungsvorschriften (2) und (3) erhält man folgende Berechnungsvorschrift zur direkten Ermittlung eines Synchronlauffehlers  $\Delta C$ :

$$\Delta C = (C_0 - C_M) + (B_M - B_0) \cdot K_{\bar{u}B} + (Z_M - Z_0) \cdot K_{\bar{u}Z} + (Y_M - Y_0) \cdot K_{\bar{u}Y} \quad (4)$$

Wenn sich nach Einschalten der Kopplung und dem Ende des Hochlaufs von Leitachsen  $B_{LA1}$ ,  $Z_{LA2}$  und  $Y_{LA3}$  und Folgeachse  $C_{FA}$  aufgrund des Erreichens einer synchronen Drehzahl für die Folgeachse  $C_{FA}$  die Relativlage der Folgeachse  $C_{FA}$  zu den Leitachsen  $B_{LA1}$ ,  $Z_{LA2}$  und  $Y_{LA3}$  nicht mehr ändert, wird ein berechneter Synchronlauffehler  $\Delta C$  durch eine überlagerte Folgeachsbewegung ausgeglichen. Dies geschieht beispielsweise durch ein überlagertes Abfahren des Synchronlauffehlers  $\Delta C$  durch einen Interpolator der Maschinensteuerung FAIPO für die Folgeachse  $C_{FA}$  und kann zu einem beliebigen Zeitpunkt mit einem beliebigen Fahrprofil erfolgen.

Für den Fall, daß eine Folgeachse  $C_{FA}$  als periodische Achse ausgeprägt ist, kann der Synchronisierweg zum Ausgleichen eines Synchronlauffehlers  $\Delta C$  durch Modulordnung mit der Teilung verkürzt werden. Dies soll im folgenden am Beispiel einer endlos drehenden Rundachse erläutert werden. Hierbei wird der Synchronisierweg mit dem Modul eine Umdrehung bestimmt, so daß innerhalb einer einzelnen Umdrehung synchronisiert wird. Durch die Auswahl des kürzesten Weges innerhalb dieser einen Umdrehung kann der Verfahrensweg zum Ausgleichen des Synchronlauffehlers  $\Delta C$  auf maximal eine halbe Umdrehung der endlos drehenden Rundachse verkürzt werden.

Ein anderes Beispiel liegt dann vor, wenn eine Folgeachse  $C_{FA}$  als sogenannte Teilungsachse, z. B. beim Zahnrad, ausgeprägt ist. In diesem Fall kann der Synchronisierweg auch mit dem Modul der Teilungszahl gerechnet werden. Die Teilungszahl ergibt sich beispielsweise bei einem Zahnrad mit 24 Zähnen aus dem Quotienten aus Umlaufwinkel und Zahl der Zähne. Dies ist in dem genannten Beispiel  $360^\circ/24$ . Auf diese Weise wird in die nächstliegende Zahnücke des Zahnrads positioniert. Auch hierbei ist die Auswahl des kürzesten Weges möglich, so daß maximal eine halbe Teilung zur Positionierung in die nächstliegende Zahnücke verfahren werden muß.

Darüber hinaus kann das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung neben dem geschilderten Ausführungsbeispiel bei der Zahradbearbeitung auch für verschiedene Anwendungen mit elektronisch gekoppelten Achsen bzw. elektronischem Getriebe eingesetzt werden. Dies ist beispielsweise bei Synchronspindelpaaren der Fall, um ein Werkstück in definierter Bezugslänge von einer Leit auf eine Hilfsspindel zu übergeben. Ein anderer Anwendungsfall ist bei Portalen mit zwei An-

trieben, sogenannten Gantrymaschinen, zum Geradeziehen des Portals nach dem Einschalten gegeben. Außerdem kann das Verfahren unter anderem auch zum Einsynchronisieren eines mitlaufenden Werkzeugmagazins verwendet werden, um während der Fahrt ein Werkzeug wechseln zu können.

Das im vorangehenden Ausführungsbeispiel erläuterte erfindungsgemäße Verfahren kann grundsätzlich mit beliebig vielen Leitachsen und für beliebig viele Folgeachsen durchgeführt werden.

Ein im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung ebenfalls bedeutsamer Vorgang besteht im automatischen Einrichten von Werkzeug und Werkstück, um eine definierte Synchronposition  $C_0$ ,  $B_0$ ,  $Z_0$  und  $Y_0$  für alle beteiligten Leitachsen  $B_{LA1}$ ,  $Z_{LA2}$  und  $Y_{LA3}$  sowie der Folgeachsen  $C_{FA}$  zu ermitteln. Dies soll am Beispiel der bereits in den vorigen Ausführungen zugrunde gelegten Zahradbearbeitung näher erläutert werden. Bei der Zahradbearbeitung wird vielfach das Werkstück undefiniert auf den Werkstücktisch montiert, was teilweise auch während des Verfahrens geschieht. In einem solchen Fall ist jedoch die Position  $C_0$  der Folgeachse  $C_{FA}$ , in der das Werkstück synchron zur Leitachse ist, nicht bekannt. Die Position  $C_0$  muß daher nach dem Einspannen mittels geeigneter Sensoren gemessen werden. Es wird dabei gemessen, in welcher Position relativ zur Absolutlageposition des Tisches eine Zahnücke des Zahnrads liegt.

In Fig. 3 ist eine solche Konstellation dargestellt, wobei ein Zahnrad ZR, welches durch die Folgeachse  $C_{FA}$  geführt wird, mit einer Schleifschnecke  $B$  synchronisiert wird, welche durch die Leitachse  $B_{LA1}$  angetrieben wird. Wenn das Werkstückteil auf der Position  $C_0$  steht, liegt eine Zahnücke exakt gegenüber dem Werkzeug, in diesem Fall der Schleifschnecke  $B$ . Befindet sich der Sensor an der Position des Werkzeugs, also das Zahnrad ZR, so ist  $C_0$  die Position, an der der Sensor bei Drehung des Zahnrads ZR eine Zahnücke registriert hat.

Ist der Sensor  $S$  an einer anderen Position angebracht, so z. B. in Fig. 4 dargestellt anhand des Falles, daß der Sensor  $S$  gegenüber von dem Werkzeug  $B$  angeordnet ist, so muß eine Sensorverschiebung  $\Delta C_S$  gegenüber dem Werkzeug  $B$  mit der gemessenen Position  $C_M$  verrechnet werden, um die korrekte Position  $C_0$  der registrierten Zahnücke zu erhalten.

Als Sensor kann ein berührungsloser Sensor  $S$  oder ein berührender Sensor  $M$  verwendet werden. Für das Verfahren mit einem berührungslosen Sensor  $S$  läßt sich beispielsweise ein kapazitiver Sensor verwenden. Ein solcher kapazitiver Sensor wird soweit an das Werkstück herangebracht, daß er die Flanken des Zahnrads ZR messen kann. Bei Drehung des Zahnrads ZR werden die Übergänge von Luft zu Metall gemessen und für mehrere Zahnücken abgespeichert. Eine Mittelung über alle Messungen erfolgt durch Rückrechnen der späteren Flanken auf die erste gemessene Flanke über die bekannte Teilung des Werkstückes, also des Zahnrades  $C$ . Für die zweite Flankenmessung wird das Werkstück, das Zahnrad ZR, mit gleicher Drehzahl in Gegenrichtung gedreht und wieder die Flanken gemessen, gemittelt und auf die erste Zahnücke rückgerechnet. Die Mitte zwischen beiden Flankenmessungen ist die gemittelte Zahnückenmitte. Durch die Richtungsumkehr bei der Messung fallen alle Hystereseeffekte des Sensors  $S$  heraus, so daß ohne ein Einmessen bereits das erste Teil richtig justiert wird. Wird der Abstand der Zahnückenmitte zu einer Flanke gespeichert, so kann bei weiteren

Messungen, beispielsweise für eine Serienfertigung, auf das Ausmessen der zweiten Flanke verzichtet werden. Die Lückenmitte liegt um den gespeicherten Wert neben der gemessenen ersten Flanke. Aufgrund der Hysterese des Sensors S müssen Folgemessungen mit der gleichen Drehzahl wie die erste Messung erfolgen.

Nach dem gleichen Verfahren kann auch die Position eines Zahnes am Werkzeug B gemessen werden, sofern ein geeigneter Sensor zur Verfügung steht. Der Sensor braucht dabei nicht in dem eigentlichen Arbeitsraum montiert zu sein, da lediglich die absolute Lage eines Bearbeitungszahnes notwendig ist. Diese kann auch als spezielle Werkzeugkorrektur zum jeweiligen Werkstück abgespeichert werden.

In der Darstellung in Fig. 5 ist das Verfahren eines automatischen Einrichtens von Werkzeug B und Werkstück ZR anhand eines berührenden Sensors, einem Meßtaster M gezeigt. Ein Meßtaster M wird an beliebiger Stelle in die Zahnradlücke eines Zahnrades ZR geführt. Durch Drehung des Zahnrades ZR werden die absoluten Positionen der benötigten Flanken ermittelt. Daraus wird die Zahnradlückenmitte bestimmt. Dieses Verfahren wird mit beliebigen weiteren Zahnradlücken wiederholt. Die vorher ermittelte Zahnradlückenmitte wird um die Zahl der Teilungen, um die weiter positioniert wurde, auf die neue Zahnradlücke hochgerechnet und aus der oder den vorhergehenden Zahnradlücken ein Mittelwert gebildet. Diese Zahnradlückenmitte wird um die Sensorverschiebung  $\Delta C_s$  auf die Bearbeitungsposition umgerechnet und damit nach dem eingangs erläuterten Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung einsynchronisiert. Anstelle eines Meßtasters M sind auch andere berührende Sensoren einsetzbar.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen, insbesondere bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern mit elektronischer Achskopplung, mit folgenden Verfahrensschritten:

- 1.1 die Kopplung wird eingeschaltet und die Leitachsen (B\_LA1, Z\_LA2, Y\_LA3) werden auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren,
- 1.2 es wird gewartet bis die Folgeachsen (C\_FA) eine synchrone Drehzahl erreicht haben,
- 1.3 die Leitachsenpositionen ( $B_M$ ,  $Z_M$ ,  $Y_M$ ) und Folgeachsenpositionen ( $C_M$ ) werden gemessen,
- 1.4 die Meßwerte werden zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert,
- 1.5 zu jeder Folgeachse (C\_FA) wird ein Synchronlauffehler ( $\Delta C$ ) ermittelt,
- 1.6 jeder Synchronlauffehler ( $\Delta C$ ) wird durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse (C\_FA) ausgeglichen.

2. Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen, insbesondere bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern mit elektronischer Achskopplung, wobei sich Leitachse (B\_LA1, Z\_LA2, Y\_LA3) und Folgeachse (C\_FA) nicht in einer Synchronposition ( $B_0$ ,  $Z_0$ ,  $Y_0$ ,  $C_0$ ) befinden, mit folgenden Verfahrensschritten:

- 2.1 definierte Positionen ( $B_0$ ,  $Z_0$ ,  $Y_0$ ,  $C_0$ ) für die Leitachsen (B\_LA1, Z\_LA2, Y\_LA3) und Folgeachsen (C\_FA) bezogen auf das Absolutlagesystem werden bestimmt,

2.2 die Kopplung wird eingeschaltet und die Leitachsen (B\_LA1, Z\_LA2, Y\_LA3) werden auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren,

2.3 es wird gewartet bis die Folgeachsen (C\_FA) eine synchrone Drehzahl erreicht haben,

2.4 die Leitachsenpositionen ( $B_M$ ,  $Z_M$ ,  $Y_M$ ) und Folgeachsenpositionen ( $C_M$ ) werden gemessen,

2.5 die Meßwerte werden zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert,

2.6 zu jeder Folgeachse (C\_FA) wird ein Synchronlauffehler ( $\Delta C$ ) ermittelt,

2.7 jeder Synchronlauffehler ( $\Delta C$ ) wird durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse (C\_FA) ausgeglichen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Folgeachsen als periodische Achsen ausgeprägt sind, mit folgendem weiteren Verfahrensschritt:

3.1 der Synchronisierweg zum Ausgleichen eines Synchronlauffehlers ( $\Delta C$ ) wird durch Modulordnung mit der Teilung der zugehörigen Folgeachse (C\_FA) ermittelt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Folgeachsen als endlosdrehende Rundachsen ausgeprägt sind, mit folgendem weiteren Verfahrensschritt:

4.1 das Ausgleichen eines Synchronlauffehlers ( $\Delta C$ ) erfolgt durch Auswahl des kürzesten Weges innerhalb des Moduls eine Umdrehung der zugehörigen Folgeachse (C\_FA).

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Folgeachsen als Teilungsachsen ausgeprägt sind, mit folgendem weiteren Verfahrensschritt:

5.1 das Ausgleichen eines Synchronlauffehlers ( $\Delta C$ ) erfolgt durch Auswahl des kürzesten Weges innerhalb des Moduls der Teilungszahl der zugehörigen Folgeachse (C\_FA).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, mit folgendem weiteren Verfahrensschritt:

6.1 die definierte Position ( $C_0$ ) für die Folgeachse (C\_FA) wird durch einen berührungslosen Sensor (S) oder einen berührenden Sensor (M) bezogen auf das Absolutlagesystem bestimmt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**- Leerseite -**

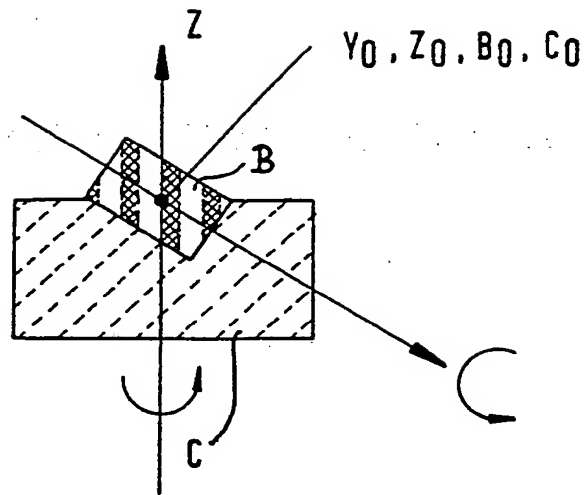


FIG 1

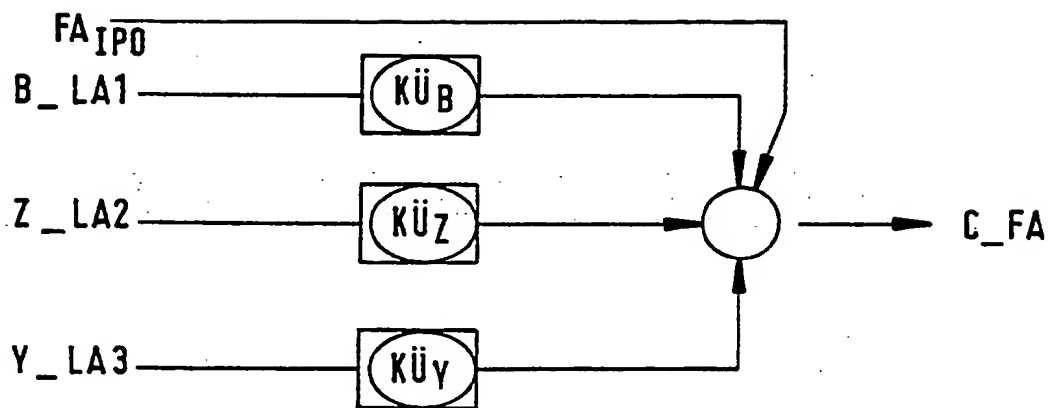


FIG 2

